

Perbandingan Metode Perkiraan Laju Infiltrasi pada Wilayah Yogyakarta (Studi Kasus Wilayah DAS Gajah Wong)

Comparison of Methods for Estimating Infiltration Rate in Yogyakarta Area (Case Study of Gajah Wong Watershed)

Fitria Fathlarahma Dewi, Nursetiawan

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Abstrak. Infiltrasi adalah suatu proses masuknya air ke dalam profil tanah ke arah vertikal dan horizontal. Penelitian ini dilakukan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Gajah Wong dengan menggunakan alat infiltrometer cincin ganda (*double ring infiltrometer*). Alat ini berupa dua buah cincin silinder yang terbuat dari besi, baja atau logam campuran dengan tinggi 500 mm, diameter cincin dalam 300 mm, diameter cincin luar antara 450 mm sampai dengan 600 mm, dan setebal 3 mm. seperti yang telah distandarkan oleh SNI 7752:2012, alat ini dimasukkan ke dalam tanah sedalam 15 cm agar tidak terjadi kebocoran dari arah samping (horisontal). Data pengukuran lapangan yang didapat, seperti laju infiltrasi, permeabilitas, kepadatan, dan kadar air tanah selanjutnya dianalisis menggunakan persamaan Philip dan membandingkannya dengan persamaan Horton. Berdasarkan hasil analisis perbandingan perkiraan laju infiltrasi menggunakan metode Horton dan metode Philip disimpulkan bahwa kedua metode tersebut baik digunakan. Demikian karena hasil kurva metode Horton dan metode Philip mendekati data titik-titik pengukuran lapangan dan tidak terlalu berjauhan.

Kata-kata kunci: infiltrasi, *double ring infiltrometer*, metode Philip.

Abstract. Infiltration is a process of entering water to the soil vertically and horizontally. Location of this study is at Gajah Wong Watershed using double ring infiltrometer. This tools use 2 cylindrical ring made from steel, aluminium or alloy with 500 mm height, 300 mm inner diameter, 450-600 mm outer diameter, and 3 mm thickness. Based of SNI 7752:2012, this tools planted 15cm depth on soil to avoid leaks horizontally. The data obtained such as infiltration rate, permeability, density, and soil water content are used to analyze using Philip Equation and compare with Horton Equation. Result of this method comparison is both method are fine to used. Because the curve result of Horton and Philip Equation are close from the real measurement field.

Key words: infiltration, double ring infiltrometer, Philip equation

1. Pendahuluan

Tanah berperan penting dalam presipitasi menjadi limpasan dan penyimpanan air (Bayabil, 2019). Infiltrasi adalah masuknya air ke bawah dari permukaan ke dalam profil tanah (Lal, 1990). Aliran air yang masuk ke dalam tanah bisa ke arah vertikal ke bawah maupun ke arah samping atau horizontal (Asdak, 2007).

Penentuan model infiltrasi yang sesuai untuk suatu daerah perlu diketahui sebelum analisis lainnya dilakukan (Dhalhar, 1972). Menentukan laju infiltrasi dapat dilakukan dengan pendekatan teoritik dengan persamaan Philip, Green and Ampt, dan Horton. Pengukuran infiltrasi di lapangan memerlukan waktu, tenaga, biaya yang tidak sedikit, maka diperlukan transformasi data empiris di lapangan menjadi suatu pendekatan model yang

tepat sesuai dengan kondisi daerah tersebut sebagai dasar estimasi dalam menentukan besarnya infiltrasi tanah (Hidayah, dkk., 2000). Pengukuran ini dilakukan di sekitar Daerah Aliran Sungai (DAS) Gajah Wong dengan menggunakan alat infiltrometer cincin ganda (*double ring infiltrometer*). Hasil pengukuran lapangan, seperti laju infiltrasi, permeabilitas, kepadatan, dan kadar air tanah selanjutnya dianalisis menggunakan persamaan Philip. Persamaan Philips adalah salah satu model berbasis fisik yang diadopsi oleh berbagai peneliti untuk menjelaskan perilaku memindahkan cairan (air) dari permukaan bumi ke profil tanah (Don-scott, 2002). Dari semua model berbasis fisik (Green Ampt, Kostikov, Horton dan Richard) persamaan Philip adalah yang paling menarik karena waktu infiltrasi

dapat dinyatakan secara eksplisit sebagai fungsi dari infiltrasi kumulatif (Tillman, 2001).

Rahimi dan Byzedi (2012) melakukan penelitian laju infiltrasi menggunakan alat cincin ganda (*double ring infiltrometer*) yang kemudian hasilnya dihitung dengan model persamaan Kostiakov, Kostiakov-Lewis, Philip, dan SCS. Setelah menganalisis model, model Phillip cenderung menjadi yang paling tepat untuk memperkirakan laju infiltrasi terintegrasi. Model SCS direkomendasikan untuk daerah ini karena meremehkan tingkat infiltrasi dan infiltrasi terintegrasi. Kedekatan koefisien K dalam persamaan Kostiakov dengan koefisien serapan S dalam persamaan Philips yang menyiratkan ketergantungan koefisien K pada karakteristik fisik tanah.

Sutikto dan Chikamori (1993) mengevaluasi laju infiltrasi model Philip. Penelitiannya dilakukan selama musim hujan di daerah dataran tinggi yang terletak di Daerah Aliran Sungai (DAS) Samin, Indonesia, sekitar 800 m di atas permukaan laut rata-rata. Pengujian menggunakan alat infiltrometer cincin ganda. Dari hasil penelitiannya tersebut, dapat disimpulkan penyerapan ditentukan dengan menggunakan rumus $S = I/t^{1/2}$ dan pendekatan regresi linier berganda sangat berkorelasi, tetapi tidak ada korelasi antara konduktivitas hidrolis jenuh diukur (K_s) dari permukaan tanah dan parameter konstanta yang diperoleh dengan menggunakan regresi berganda.

Haghighi, dkk. (2010) melakukan evaluasi pada model infiltrasi Kostiakov-Lewis, Horton, dan Philip. Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa model Horton dapat digunakan digunakan untuk memperkirakan laju infiltrasi tanah. Hasil tersebut menunjukkan bahwa model Horton lebih baik daripada model Kostiakov-Lewis dan Philip di sebagian besar titik sampel di Daerah Aliran Sungai (DAS) Taleghan di Iran.

Igbadun, dkk. (2016) juga melakukan evaluasi tanah lempung liat berpasir dengan sepuluh model infiltrasi, diantaranya Philip, Kostiakov, Kostiakov Modifikasi, Kostiakov-Lewis, Natural Resources Conservation Service (NRCS), Green and Ampt, Smith-Parlange, Talsma-Parlange, Swartzendruber, dan Horton. Penelitian tersebut didapat model Kostiakov modifikasi dan model Philip lebih baik dalam

memprediksi infiltrasi kumulatif, meskipun model-model lain menunjukkan hasil infiltrasi kumulatif terukur di lapangan yang baik secara keseluruhan.

Shahsavar, dkk. (2010) merancang sebuah program dalam perangkat lunak *Quick Basic* dan menulis algoritma untuk tiga model yang meliputi Kostiakov, Modified Kostiakov, dan Philip. Setelah itu dikumpulkan data infiltrasi faktual dengan metode cincin ganda di 12 jenis tanah dataran Saveh di Provinsi Markazi, Iran. Setelah menilai koefisien model, persamaan tersebut dibuat ulang oleh perangkat lunak *Excel* untuk perhitungan yang berkaitan dengan pengamatan dan grafik terkait dilakukan. Parameter infiltrasi, seperti infiltrasi kumulatif dan laju infiltrasi diperoleh dari model. Hasil menunjukkan bahwa untuk tujuh seri model Philip dapat menentukan parameter infiltrasi sesuai.

Ukata, dkk. (2015) mengevaluasi parameter infiltrasi metode Philip pada kondisi ekosistem tanah basah di Agwagune Rural Catchment, Sungai Nigeria. Laju infiltrasi lahan basah dihasilkan secara empiris dari percobaan dengan bantuan silinder infiltrometer Hillel (1970). Hasil penelitiannya menunjukkan tanah dengan kapasitas sangat rendah karena parameter (S) dan (A). Parameter tersebut mudah rusak jika dalam keadaan basah selama kurang dari satu jam.

Jafarina dan Fuladipناه (2014) juga mengevaluasi laju infiltrasi model Kostiakov, Philip, dan model SCS untuk dipilih satu yang cocok pada dataran Shazand, Arak, Iran. Pengujian dilakukan menggunakan alat infiltrometer cincin ganda (*double ring infiltrometer*) di dataran Shazand. RMSE dan N.S. indeks digunakan untuk menghitung akurasi simulasi. Dari hasil penelitian tersebut, model SCS dipilih sebagai model yang sesuai untuk mensimulasikan proses infiltrasi di dataran Shazand.

Oku dan Aiyelari (2011) mengevaluasi laju infiltrasi model Philip dan Kostiakov pada tanah *inceptisols* di hutan lembab Nigeria. Penelitiannya menggunakan alat infiltrometer cincin ganda (*double ring infiltrometer*). Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa model infiltrasi Philip lebih cocok daripada model infiltrasi Kostiakov untuk memprediksi infiltrasi air ke dalam *Inceptisols* di zona

lembab hutan di Nigeria. Sehingga, model Philip direkomendasikan untuk digunakan pada *Inceptisols* di zona hutan lembab.

Bayabil, dkk. (2019) membandingkan sifat-sifat tanah yang diamati dengan dataset tanah *FAO* dan *Africa Soil Information (AfSIS)*. Penelitian tersebut mengevaluasi kinerja model infiltrasi yang dipilih dalam mensimulasikan laju infiltrasi tanah dan menilai keandalan *Pedotransfer Function (PTF)* dalam memperkirakan sifat hidrologi menggunakan alat infiltrometer cincin tunggal (*single ring infiltrometer*). Secara keseluruhan, nilai rata-rata parameter tanah yang paling banyak dipelajari dari dataset *FAO* dan *Africa Soil Information (AfSIS)* sebanding dengan pengamatan lapangan. Namun, kumpulan data *FAO* dan *Africa Soil Information (AfSIS)* gagal menangkap variabilitas spasial dari parameter tanah kritis (misalnya: kadar air yang tersedia). Semua *Pedotransfer Function (PTF)* yang diuji dalam penelitian tersebut menunjukkan keterbatasan dan perlu dievaluasi dengan pengamatan data yang lebih besar. Penelitian tersebut jelas menunjukkan bahwa parameter hidrologi tanah bervariasi secara signifikan dalam jarak yang sangat kecil di Daerah Aliran Sungai (DAS) kecil.

Ritawati, dkk. (2012) melakukan pengujian kesesuaian model infiltrasi Philip untuk prediksi limpasan permukaan dengan metode bilangan kurva. Penelitian tersebut dilakukan di daerah Kabupaten Temanggung, Jawa Tengah. Penelitian tersebut menggunakan alat infiltrometer cincin ganda (*double ring infiltrometer*) dengan mengambil data lapangan berupa pengukuran laju infiltrasi dan pengambilan sampel tanah selama musim penghujan. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa model infiltrasi Philip cukup sesuai untuk prediksi limpasan permukaan menggunakan metode bilangan kurva.

Basit (2018) melakukan penelitian di kawasan Daerah Aliran Sungai (DAS) Winongo, kemudian hasil pengukuran lapangannya dianalisis menggunakan persamaan Horton. Berdasarkan hasil penelitian tersebut didapatkan potensi limpasan permukaan dari nilai laju infiltrasi konstan DAS Winongo dikategorikan rendah sampai sedang dan model infiltrasi Horton cukup

sesuai untuk memprediksi laju infiltrasi di Daerah Aliran Sungai (DAS) Winongo.

Hal yang membedakan penelitian ini dan penelitian yang dilakukan oleh peneliti di atas adalah kawasan pengujian, metode mengolah data yang diperoleh dari pengukuran di lapangan, dan menggunakan data tanah pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Gajah Wong. Alasan menggunakan data tanah adalah untuk menentukan sifat fisik tanah yang merupakan salah satu faktor yang memengaruhi infiltrasi, seperti penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh Bayabil, dkk. (2012). Tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui nilai laju infiltrasi dan membandingkan model Horton dengan Philip.

2. Landasan Teori

Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah aliran sungai (DAS) adalah daerah yang dibatasi oleh punggung-punggung gunung atau pegunungan dimana air hujan yang jatuh di daerah tersebut akan mengalir menuju sungai utama pada suatu titik atau stasiun yang ditinjau. DAS ditentukan dengan menggunakan peta topografi yang dilengkapi dengan garis-garis kontur.

Infiltrasi

Di dalam tanah air mengalir dalam arah lateral, sebagai aliran antara (*interflow*) menuju mata air, danau, dan sungai; atau secara vertikal yang dikenal dengan perkolasi (*percolation*) menuju air tanah. Gerak air di dalam tanah melalui pori-pori tanah dipengaruhi oleh gaya gravitasi dan gaya kapiler. Gaya gravitasi menyebabkan aliran menuju ke tempat yang lebih rendah, sementara gaya kapiler menyebabkan air bergerak ke segala arah. Air kapiler selalu bergerak dari daerah basah menuju ke daerah yang lebih kering. Tanah kering mempunyai gaya kapiler lebih besar daripada tanah basah. Gaya tersebut berkurang dengan bertambahnya kelembaban tanah. Apabila tanah kering, air terinfiltrasi melalui permukaan tanah karena pengaruh gaya gravitasi dan gaya kapiler pada seluruh permukaan. Setelah tanah menjadi basah, gerak kapiler berkurang karena berkurangnya gaya kapiler. Hal ini menyebabkan penurunan laju infiltrasi (Triatmodjo, 2008).

Permeabilitas Tanah

Menurut Muntohar (2009), permeabilitas didefinisikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan air atau cairan lainnya untuk lolos atau merembes melalui hubungan antar pori. Koefisien permeabilitas secara umum dinyatakan dalam cm/s atau m/s dalam satuan SI dan ft/menit atau ft/hari dalam satuan British. Koefisien permeabilitas dari tanah tergantung pada beberapa faktor: kekentalan air, distribusi ukuran pori, distribusi ukuran partikel, porositas, dan derajat jenuh air. Dalam tanah lempung, struktur tanah sangat berperan penting dalam menentukan nilai koefisien permeabilitas. Nilai koefisien tanah permeabilitas dapat dilihat pada Tabel 1. Koefisien permeabilitas tanah juga terkait dengan sifat bahan cairan yang melewatinya dengan persamaan:

$$k = \frac{\gamma_w}{\eta} \bar{K} \dots\dots\dots (1)$$

dengan,

γ_w = berat volume air,

η = kekentalan air,

\bar{K} = permeabilitas mutlak.

Tabel 1 Nilai koefisien permeabilitas jenuh air (k_{sat}) berbagai jenis tanah (Muntohar, 2009)

Jenis Tanah	k_{sat}	
	cm/s	ft/menit
Kerikil	100 – 1,0	200 – 2,0
Pasir kasar	1,0 – 0,01	2,0 – 0,02
Pasir halus	0,01 – 0,001	0,02 – 0,002
Lempung berlanau	0,001 – 10^{-6}	0,002 – 2×10^{-5}
Lempung	< 0,00001	< 0,00002

Kepadatan Tanah

Tanah dapat divisualisasikan sebagai suatu struktur yang tersusun dari partikel padat dengan rongga-rongga berada diantara partikel padat tersebut. Rongga-rongga ini biasanya akan terisi oleh udara atau zat gas lainnya dan air atau zat cair lainnya. Bila tanah mengalami pemadatan akibat energi mekanis yang berulang, maka akan terjadi pengurangan volume rongga yang terisi oleh udara. Dengan demikian, secara umum pemadatan dapat diartikan sebagai proses memampatnya (*densification*) tanah akibat berkurangnya volume dari fasa udara karena diberikan energi mekanis yang berulang (Muntohar, 2009).

Kadar Air Tanah

Kadar air (w), atau kelembaban (*moisture content, m*) adalah perbandingan antara massa air dengan massa padat dalam tanah. Kadar air ditentukan dengan menimbang contoh tanah kemudian dikeringkan dalam oven bertemperatur 105–110 °C dan ditimbang kembali. Pengeringan harus dilakukan terus menerus sampai tercapai selisih antara dua penimbangan berturut-turut tidak lebih dari 0,1% massa mula-mula dengan interval penimbangan empat jam. Kebanyakan tanah cukup dikeringkan dalam oven selama 24 jam (Craig, 1987).

Persamaan Philip

Persamaan Philip merupakan salah satu model berbasis fisik yang diadopsi dari berbagai peneliti untuk menjelaskan pergerakan air dari permukaan bumi ke dalam profil tanah (Ukata dkk., 2015). Model Philip digunakan untuk memperkirakan laju infiltrasi dan tingkat infiltrasi dengan ketelitian yang tinggi dan metode ini merupakan model yang cocok setelah model Kostiakov-Lwies. Model SCS mengabaikan infiltrasi dan tingkat infiltrasi di semua kondisi, sehingga tidak direkomendasikan (Rahimi dan Byzedi, 2012). Persamaan Philip sebagai berikut:

$$f = \frac{(s \cdot t^{0,5})}{2} + C \dots\dots\dots (2)$$

dengan,

f = laju infiltrasi,

s dan C = konstanta yang dipengaruhi oleh faktor tanah dan kelembaban tanah mula-mula.

Double Ring Infiltrometer

Infiltrometer cincin ganda adalah metode lapangan sederhana untuk menguji efek perilaku permukaan tanah terhadap infiltrasi. Meskipun hasil dari metode ini tidak dapat diterapkan secara langsung ke pemodelan infiltrasi curah hujan, hasil ini memberikan input penting apakah persamaan infiltrasi dapat diterapkan secara eksklusif (Brakensiek dan Onstad, 1997). Infiltrometer didorong ke dalam tanah hingga kedalaman 15 cm dan pita pengukur dipasang di dalam silinder bagian dalam tempat pembacaan dilakukan. Baca sesuai interval untuk menentukan jumlah air yang diinfiltrasi selama interval waktu dengan

kepala infiltrasi rata-rata 5cm dipertahankan. Selanjutnya, tingkat infiltrasi dan infiltrasi kumulatif dihitung (Igbadun, dkk., 2016). Lebih lanjut dapat dilihat pada Lampiran 5.

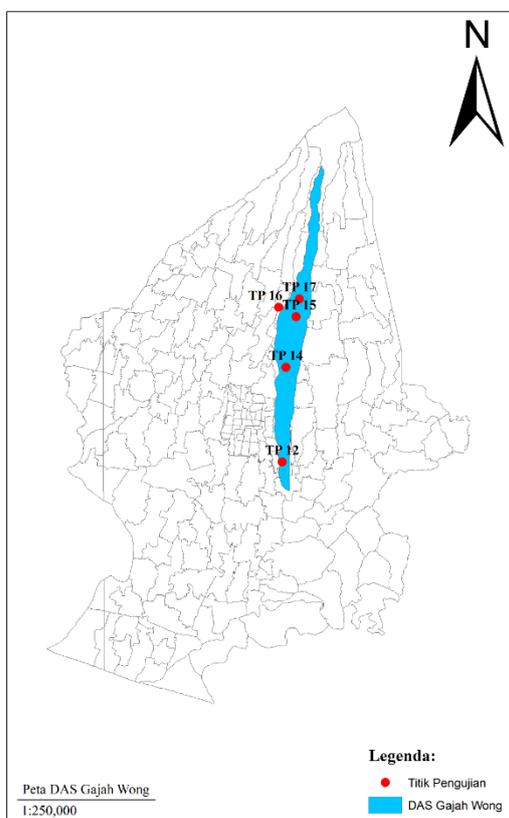
3. Metode Penelitian

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada wilayah Daerah Aliran Sungai (DAS) Gajah Wong dan Code dengan kode titik TP 11 – TP 17. Pemilihan titik pengujian ditentukan dengan mempertimbangkan wilayah yang dekat sumber air. Hal tersebut dikarenakan agar pada saat proses pengujian infiltrasi dapat tepat waktu dalam menambahkan air ke dalam cincin infiltrasi sesuai rentang waktu yang ditentukan. Lokasi titik pengujian dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 1.

Tabel 2 Lokasi penelitian

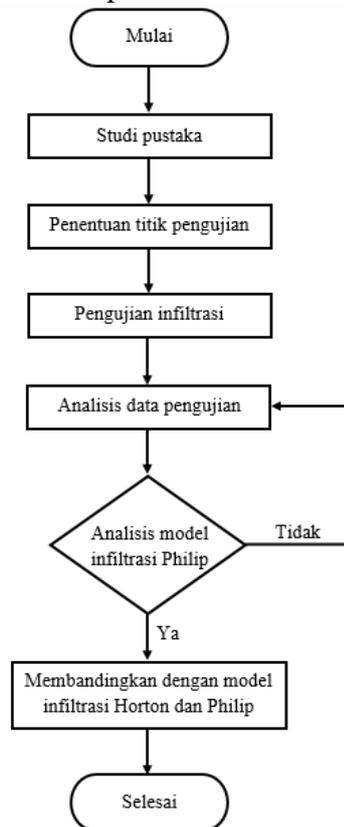
Kode Titik	Lokasi
TP 11	Trimulyo, Jetis, Bantul, DIY
TP 12	Jagalan, Banguntapan, Bantul, DIY
TP 13	Kotabaru, Gondokusuman, Sleman, DIY
TP 14	Condongcatur, Depok, Sleman, DIY
TP 15	Sinduharjo, Ngaglik, Sleman, DIY
TP 16	Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman, DIY
TP 17	Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman, DIY



Gambar 1 Peta Daerah Aliran Sungai (DAS) Gajah Wong

Tahapan Penelitian

Pada penelitian ini diambil data lapangan berupa penurunan air pada alat infiltrometer cincin ganda (*double ring infiltrometer*) dan sampel tanah yang akan diuji kadar airnya di laboratorium. Penelitian ini berlangsung selama satu minggu dengan kondisi tanah yang berbeda-beda di setiap lokasi pengujian. Lebih lanjut dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Bagan alir tahapan penelitian

Alat dan Bahan

Berdasarkan SNI 7752-2012, alat yang digunakan untuk mengukur laju infiltrasi tanah di lapangan, sebagai berikut:

- Dua buah cincin silinder infiltrometer dengan tinggi 500 mm, diameter cincin dalam 300 mm, diameter cincin luar 540 mm yang terbuat dari besi setebal 3 mm
- Piringan tutup penahan pukulan terbuat dari logam dengan ketebalan 10 mm dan diameter 685 mm
- Alat pemukul palu seberat 5 kg
- Penggaris
- Ember
- Gelas ukur
- Pengukur waktu (*stopwatch*)
- Linggis untuk mencabut cincin infiltrometer dari tanah

Pengukuran Infiltrasi Lapangan

Pengukuran laju infiltrasi berdasarkan volume air dilakukan dengan mengukur volume air yang ditambahkan tiap selang waktu. Pengukuran volume dapat dilakukan menggunakan gelas ukur. Langkah pertama dalam mengukur volume adalah mengukur volume air yang ditambahkan pada cincin dalam untk menjaga tinggi muka air pada tiap selang waktu. Kemudian, ukur volume air yang ditambahkan pada ruang antarcincin untuk menjaga tinggi muka air pada tiap selang waktu. Selang waktu yang ditentukan adalah tiap 1 menit pada 10 menit pertama, tiap 2 menit pada menit ke 10 sampai dengan menit ke 30, tiap 5 menit sampai dengan 10 menit pada menit ke 30 sampai dengan menit ke 60. Selanjutnya, tiap 15 menit sampai dengan 30 menit sampai diperoleh laju yang relatif konstan (SNI 7752-2012).

Pengukuran Kepadatan tanah

Berdasarkan ASTM D1556-07 *Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by the Sand-Cone Method*, kepadatan tanah di lapangan dapat ditentukan dengan menggunakan kerucut pasir (*sand cone*). Langkah pertama yang dilakukan adalah kalibrasi berat volume pasir dan volume kerucut pasir. Selanjutnya, timbang botol berisi pasir Ottawa secukupnya (W_1). Persiapkan permukaan tanah dengan bidang rata dan letakkan pelat dasar di atasnya, kemudian gali lubang pada tanah di dalam tanda batas yang telah dibuat.

Tanah galian pada lubang tersebut dimasukkan ke dalam wadah dan ditimbang (W_3). Letakkan botol pasir beserta kerucutnya menghadap ke bawah pada pelat dasar. Kemudian buka keran dan tunggu pasir berhenti mengalir mengisi lubang. Berat wadah, kerucut, dan pasir yang tersisa dalam wadah ditimbang (W_4), dan diperoleh berat pasir yang mengisi lubang dan kerucut (W_5).

$$W_5 = W_1 - W_4 \dots \dots \dots (3)$$

- dengan:
- W_1 = berat botol berisi pasir Ottawa
 - W_4 = berat wadah, kerucut, dan pasir sisa
 - W_5 = berat pasir yang mengisi lubang dan kerucut

Volume lubang yang digali dihitung dengan cara:

$$V = \frac{W_5 - W_c}{\gamma_{d(\text{pasir})}} \dots \dots \dots (4)$$

- dengan,
- W_c = berat pasir untuk mengisi kerucut saja,
 - $\gamma_{d(\text{pasir})}$ = berat volume kering pasir Ottawa yang digunakan.

Berat volume kering dari pemadatan yang dilakukan di lapangan,

$$\gamma_d = \frac{\text{Berat kering tanah dari lubang}}{\text{Volume lubang}} = \frac{W_3}{V} \dots \dots \dots (5)$$

- dengan,
- $\gamma_{d(\text{pasir})}$ = berat volume kering pasir Ottawa yang digunakan,
 - W_3 = berat tanah galian,
 - V = volume lubang yang digali.

Pengukuran Permeabilitas Tanah

Mengukur permeabilitas tanah dilakukan dengan cara mengukur diameter tabung aluminium (D) dan tabung kaca (d). Kemudian siram tanah hingga kenyang air (untuk mengetahui tanah kenyang air diukur dengan *field capacity meter*) hingga > 70%. Masukkan tabung ke dalam tanah, ukur kedalamannya kemudian cek kekenyngannya. Selanjutnya, beri karet pada kaca dan memasang di atas tabung aluminium. Ukur jarak dan permukaan tanah hingga titik mulai perhitungan (h). Masukkan air dengan menggunakan gayung ke tabung kaca hingga ketinggian di atas angka 0 ml. Lalu hidupkan *stopwatch* pada saat air tepat pada angka 0 ml hingga permukaan air turun sebesar 10 cm (c). Catat waktu yang diperlukan untuk meresapkan air setiap 10 cm, 20 cm, 30 cm, dan 40 cm. untuk menghitung koefisien permeabilitas tanah adalah:

$$K = \frac{d^2 t}{D^2 t} \times \ln \frac{h}{(h-c)} \dots \dots \dots (6)$$

- dengan,
- K = koefisien permeabilitas tanah,
 - D = diameter tabung aluminium,
 - d = diameter tabung kaca,
 - L = tinggi tabung aluminium yang masuk ke dalam tanah,
 - t = waktu yang diperlukan untuk meresapkan air,
 - n = tinggi awal air dari tanah,
 - c = tinggi penurunan air (ditentukan 10 cm).

Pengukuran Kadar Air Tanah

Berdasarkan ASTM D2216-10 *Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass*, menentukan kadar air tanah dilakukan dengan menimbang cawan (W_1), kemudian masukkan tanah ke dalam cawan dan timbang (W_2). Selanjutnya, masukkan cawan berisi tanah ke dalam oven selama 16 jam atau 24 jam pada suhu $105^\circ - 110^\circ \text{C}$. Setelah keluar dari oven, diamkan pada suhu ruang dan masukkan ke dalam desikator. Setelah cawan dingin, timbang berat cawan berisi tanah kering (W_3). Kemudian, hitung kadar air dalam satuan persen (%) dengan persamaan 7 atau persamaan 8.

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \dots\dots\dots (7)$$

$$w = \frac{(W_2 - W_3)}{(W_3 - W_1)} \times 100\% \dots\dots\dots (8)$$

dengan,

w = kadar air,

W_w = berat air,

W_s = berat tanah,

W_1 = berat cawan,

W_2 = berat cawan berisi tanah basah,

W_3 = berat cawan berisi tanah kering.

4. Hasil dan Pembahasan

Pada saat pengujian menggunakan alat infiltrometer cincin ganda (*double ring infiltrometer*) penurunan air yang diamati ada dua, yaitu cincin dalam dan cincin antara. Cincin dalam merupakan memegang peranan paling penting dalam penelitian ini. Demikian karena hasil penurunan air yang terjadi cenderung sedikit dan tidak terjadi penyerapan air ke arah samping. Jadi, pada penelitian ini lebih difokuskan hasil pada cincin dalam.

Perhitungan Model Infiltrasi Horton

Berikut merupakan perhitungan model infiltrasi Horton pada titik TP 16. TP 16 merupakan titik pengujian yang berlokasi di Sardonoharjo, Kecamatan Ngaglik, Kabupaten Sleman, DIY. Kondisi tanah pada TP 16 cenderung datar dan basah akibat hujan. Lokasi pengujian dengan sumber air dekat karena berada di sekitar rumah warga. Pada saat pemasangan alat infiltrometer cincin ganda (*double ring infiltrometer*) tidak begitu sulit karena tanah tidak terdapat banyak kerikil di dalamnya. Pada Tabel 3 di bawah merupakan nilai kapasitas infiltrasi titik TP 16.

Tabel 3 Data kapasitas infiltrasi TP 16

Waktu (jam)	t (menit)	Δt (menit)	h (cm)	Δh (cm)	Kumulatif Δh (cm)	f (cm/jam)
1	2	3	4	5	6	7
0.00	0	0	20.0	0	0	0
0.02	1	1	19.6	0.4	0.4	24.00
0.03	2	1	19.4	0.2	0.6	12.00
0.05	3	1	19.2	0.2	0.8	12.00
0.07	4	1	19.0	0.2	1.0	12.00
0.08	5	1	18.7	0.3	1.3	18.00
0.12	7	2	18.6	0.1	1.4	3.00
0.15	9	2	18.5	0.1	1.5	3.00
0.18	11	2	18.4	0.1	1.6	3.00
0.22	13	2	18.3	0.1	1.7	3.00
0.25	15	2	18.2	0.1	1.8	3.00
0.33	20	5	18.0	0.2	2.0	2.40
0.42	25	5	17.7	0.3	2.3	3.60
0.50	30	5	17.4	0.3	2.6	3.60
0.67	40	10	17.1	0.3	2.9	1.80
0.83	50	10	16.6	0.5	3.4	3.00
1.00	60	10	16.1	0.5	3.9	3.00
1.17	70	10	15.7	0.4	4.3	2.40
1.33	80	10	15.3	0.4	4.7	2.40
1.50	90	10	14.9	0.4	5.1	2.40
1.67	100	10	14.5	0.4	5.5	2.40
1.83	110	10	14.1	0.4	5.9	2.40
2.00	120	10	13.7	0.4	6.3	2.40

dengan,

t = waktu (menit),

Δt = beda waktu antara dua penukuran berurutan (menit),

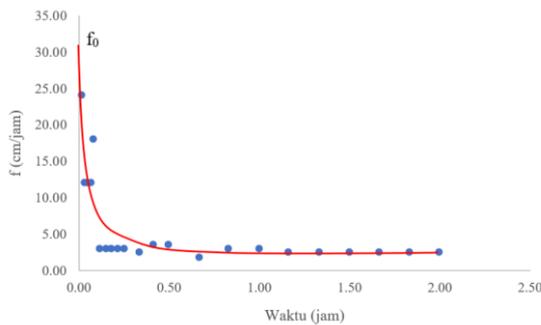
h = penurunan muka air (cm),

Δh = tinggi muka air yang meresap ke dalam tanah (cm),

f = kapasitas infiltrasi, $\frac{\Delta h}{\Delta t}$ (cm/jam).

a. Laju Infiltrasi Awal (f_0)

Nilai f_0 didapat dari kurva pada Gambar 3 yang dibuat berdasarkan titik-titik data kapasitas infiltrasi (f) yang telah dihitung pada Tabel 3 di atas. Berdasarkan *trendline* kurva *fitting* pada Gambar 3 didapatkan nilai f_0 pada titik pengujian TP 16 yaitu 31 cm/jam.



Gambar 3 Kurva *fitting* infiltrasi pada TP 16

b. Nilai f_c

Nilai f_c didapatkan dari Tabel 3 pada kolom ke-7 dengan mengambil waktu pengujian terakhir (pada menit ke-120). Sehingga, didapat, nilai f_c adalah 2,40 cm/jam.

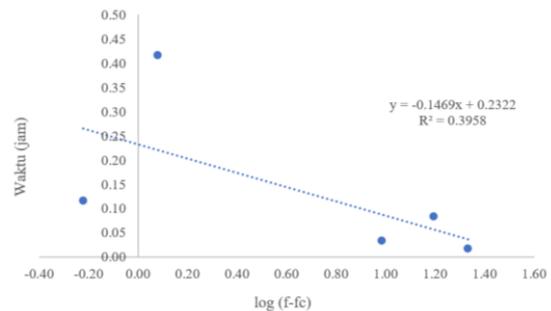
c. Nilai Gradien (m)

Pada Tabel 4, nilai gradien (m) didapat dengan membuat grafik hubungan antara waktu dan $\log (f-f_c)$. Berdasarkan *trendline* grafik pada Gambar 4, didapatkan persamaan grafik tersebut ($y = mx + C$).

Jika data nilai $\log (f-f_c)$ pada Tabel 4 ada nilai yang sama, maka diambil satu saja untuk membuat garis *trendline* pada Gambar 4. Hal ini dilakukan agar nilai gradien (m) sesuai dan kurva model infiltrasi Horton yang didapat tidak berantakan. Nilai gradien (m) sangat berpengaruh untuk mencari nilai konstanta (k) hingga hasil persamaan model Horton. Berdasarkan *trendline* Gambar 4 didapatkan nilai gradien (m) pada titik pengujian TP 16, yaitu -0,1469

Tabel 4 Nilai gradien (m) pada TP 16

Waktu (jam)	$\log (f-f_c)$
0.00	-
0.02	1.33
0.03	0.98
0.05	-
0.07	-
0.08	1.19
0.12	-0.22
0.15	-
0.18	-
0.22	-
0.25	-
0.33	-
0.42	0.08



Gambar 4 Grafik gradien (m) pada TP 16

d. Nilai Konstanta (k)

Nilai konstanta (k) merupakan fungsi tekstur permukaan, ketika permukaan ada tanah nilai konstanta (k) kecil, sedangkan jika pada lahan halus nilai konstanta (k) besar (Triatmodjo, 2014).

$m = -0,1469$

$k = \frac{-1}{m \cdot \log e} \dots\dots\dots(9)$

$k = 15,68$

dengan,

k = nilai konstanta

m = gradien

e. Analisis Model Infiltrasi Horton

Pada Tabel 5 merupakan nilai laju infiltrasi model Horton dengan menggunakan pers.10.

$F(t) = f_c + (f_0 - f_c) e^{-kt} \dots\dots\dots(10)$

$F(0,02) = 2,40 + (31 - 2,40) e^{-15,68 \cdot 0,02}$

$F(0,02) = 24,42$ cm/jam

dengan,

$F(t)$ = laju infiltrasi,

f_c = kapasitas infiltrasi di waktu terakhir,

f_0 = laju infiltrasi awal,

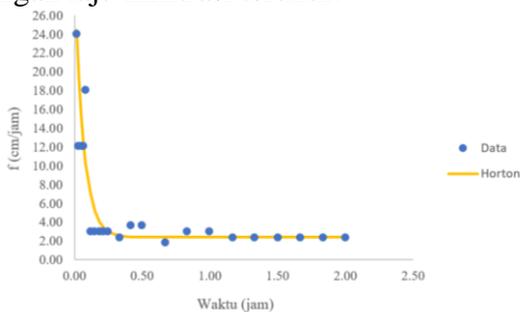
k = nilai konstanta,

t = waktu.

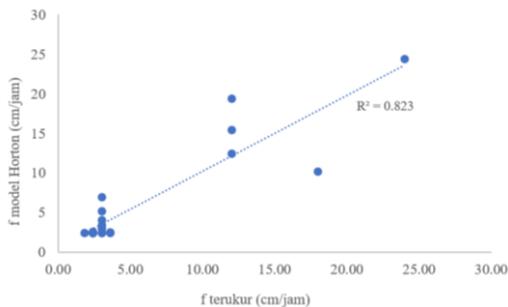
Tabel 5 Data nilai F(t) pada TP 16

Waktu (jam)	Ft (cm/jam)
0.00	0.00
0.02	19.36
0.03	15.46
0.05	12.46
0.07	10.15
0.08	6.99
0.12	5.12
0.15	4.02
0.18	24.42
0.22	3.36
0.25	2.97
0.33	2.55
0.42	2.44
0.50	2.41
0.67	2.40
0.83	2.40
1.00	2.40
1.17	2.40
1.33	2.40
1.50	2.40
1.67	2.40
1.83	2.40
2.00	2.40

Berdasarkan kurva pada Gambar 5, hasil kurva model infiltrasi Horton pada jam pertama sampai 0,50 jam mengalami penurunan dan pada 0,67 jam sampai 2 jam kurva sudah mulai konstan. Pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa perbandingan tersebut memiliki angka R² sebesar 0,823 dan dapat disimpulkan bahwa persamaan regresi tersebut baik dan sesuai dengan laju infiltrasi terukur.



Gambar 5 Kurva model Horton pada TP 16



Gambar 6 Grafik perbandingan laju infiltrasi terukur dan Horton pada TP 16

Perhitungan Model Infiltrasi Philip

Berikut merupakan perhitungan model infiltrasi Philip pada TP 16.

a. Luas Penampang Cincin Infiltrometer

$$A = 2 \times \pi \times r^2 \dots\dots\dots(11)$$

$$A = 2 \times \pi \times 30^2$$

$$A = 706,86 \text{ cm}^2$$

dengan,

A = luas,

π = phi,

r = jari-jari.

b. Nilai Cp

t₁ = 1 menit

t₂ = 120 menit

Fp₁ = 4 mm

Fp₂ = 63 mm

$$C_p = \frac{(F_{p1} t_2) - (F_{p2} t_1)}{2((t_1^{0,5} t_2) - (t_2^{0,5} t_1))} \dots\dots\dots(12)$$

$$C_p = \frac{(4 \times 120) - (63 \times 1)}{2((1^{0,5} \times 120) - (120^{0,5} \times 1))}$$

$$C_p = 1,9120$$

dengan,

Cp = konstanta

t₁ = waktu awal pengujian,

t₂ = waktu terakhir pengujian,

Fp₁ = kapasitas infiltrasi pada t₁,

Fp₂ = kapasitas infiltrasi pada t₂.

c. Nilai C

$$F_{p1} t_2 - C t_1 t_2 = 2 C_p t_1^{0,5} t_2 \dots\dots\dots(13)$$

$$(4 \times 120) - C(1 \times 120) = 2(1,9120 \times 1^{0,5} \times 120)$$

$$480 - 120 C = 485,8908$$

$$C = 0,1759$$

$$F_{p2} t_1 - C t_2 t_1 = 2 C_p t_2^{0,5} t_1 \dots\dots\dots(14)$$

$$(63 \times 1) - C(120 \times 1) = 2(1,9120 \times 120^{0,5} \times 1)$$

$$63 - 120 C = 41,8908$$

$$C = 0,1759$$

d. Analisis Model Infiltrasi Philip

Pada Tabel 6 dan Tabel 7 adalah nilai laju infiltrasi Philip dengan menggunakan pers.15.

$$F_p = C_p t^{-0,5} + C \dots\dots\dots(15)$$

$$F_p = 1,9120 t^{-0,5} + 0,1759$$

dengan,

Fp = laju infiltrasi,

Cp = konstanta,

C = konstanta,

t = waktu.

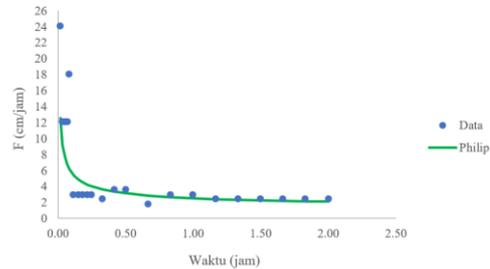
Berdasarkan kurva pada Gambar 7, hasil kurva model infiltrasi Philip pada jam pertama sampai 0,50 jam mengalami penurunan dan pada 0,67 jam sampai 2 jam kurva sudah mulai konstan. Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa perbandingan tersebut memiliki angka R^2 sebesar 0,7908 dan dapat disimpulkan bahwa persamaan regresi tersebut baik dan sesuai dengan laju infiltrasi terukur.

Tabel 6 Data nilai Fp pada TP 16

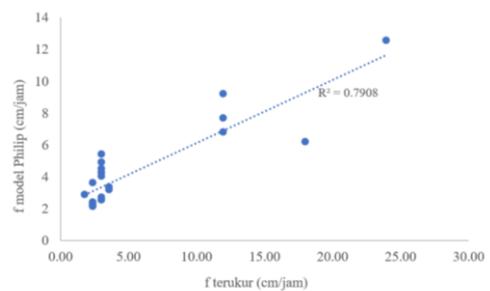
Waktu (jam)	Fp (cm/jam)
0.00	0.00
0.02	12.53
0.03	9.17
0.05	7.68
0.07	6.79
0.08	6.19
0.12	5.39
0.15	4.88
0.18	4.51
0.22	4.24
0.25	4.02
0.33	3.62
0.42	3.35
0.50	3.15
0.67	2.87
0.83	2.68
1.00	2.54
1.17	2.43

Tabel 7 Data nilai Fp pada TP 16 (lanjutan)

Waktu (jam)	Fp (cm/jam)
1.33	2.34
1.50	2.26
1.67	2.20
1.83	2.15
2.00	2.10



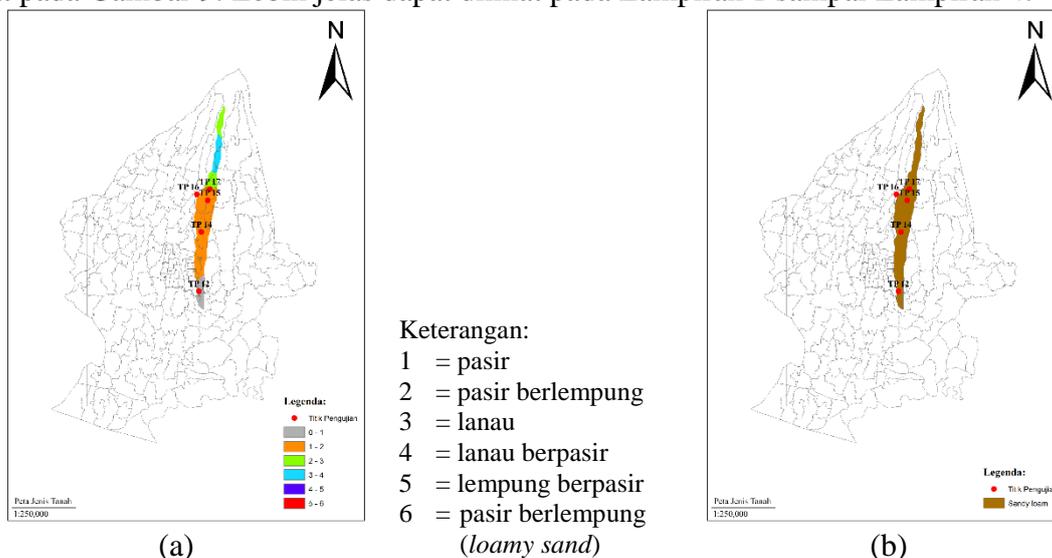
Gambar 7 Kurva model Philip pada TP 16



Gambar 8 Grafik perbandingan laju infiltrasi terukur dan Philip pada TP 16

Analisis Data Tanah

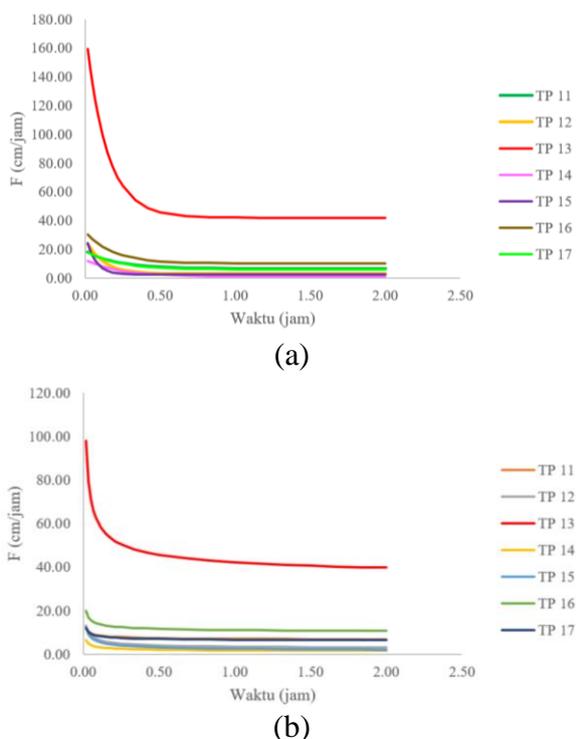
Analisis data tanah dari berbagai instansi dan data *DMSW* dengan menggunakan aplikasi *ArcGIS*. Berdasarkan analisis *ArcGIS* pada data tanah yang telah diuji dari berbagai instansi didapatkan bahwa Daerah Aliran Sungai (DAS) Gajah Wong terdapat empat tanah jenis, yaitu pasir, pasir berlempung, lanau, dan lanau berpasir. Sedangkan untuk analisis *ArcGIS* pada data tanah menurut *FAO* hanya ada satu jenis tanah yaitu tanah pasir berlempung (*sandy loam*) karena pembagian jenis tanahnya berdasarkan kesamaan, kemiripan sifat, dan ciri-ciri tanah. Lebih lanjut dapat dilihat pada Gambar 9. Lebih jelas dapat dilihat pada Lampiran 1 sampai Lampiran 4.



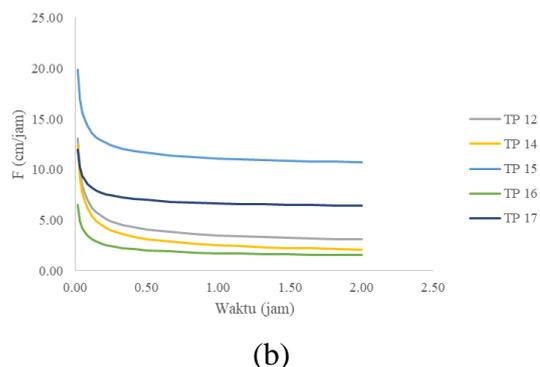
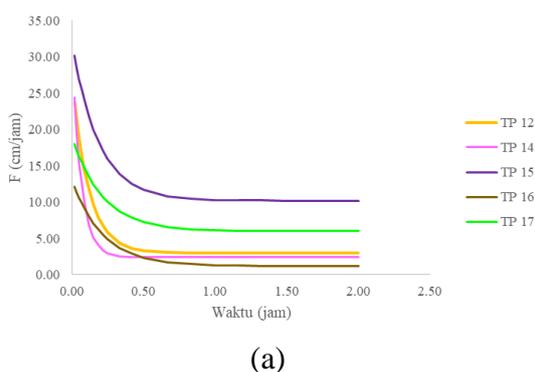
Gambar 9 Peta jenis tanah Daerah Aliran Sungai (DAS) Gajah Wong, (a) data tanah penelitian instansi dan (b) data tanah *FAO*

Perbandingan Model Infiltrasi Horton dan Philip

Perbandingan model infiltrasi Horton dan Philip perlu untuk menentukan persamaan mana yang paling mendekati data perhitungan kapasitas infiltrasi (f). Berdasarkan kurva pada Gambar 10, titik TP 13 nilai laju infiltrasi yang sangat tinggi. Hal tersebut terjadi karena penyerapan air pada saat pengujian di lapangan sangat cepat dan jenis tanah pasir kering urugan. Titik TP 11 dan TP 13 tidak memenuhi pada daerah aliran sungai (DAS) Gajah Wong, sehingga titik tersebut tidak digunakan. Berdasarkan kurva pada Gambar 11, titik TP 15 memiliki nilai laju infiltrasi yang paling tinggi dan menunjukkan bahwa kedua model tersebut baik digunakan untuk memprediksi nilai laju infiltrasi.



Gambar 10 Kurva infiltrasi TP 11 - TP 17: (a) model Horton dan (b) model Philip



Gambar 11 Kurva infiltrasi TP 11 - TP 17 tanpa TP 13: (a) model Horton dan (b) model Philip

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data, didapatkan:

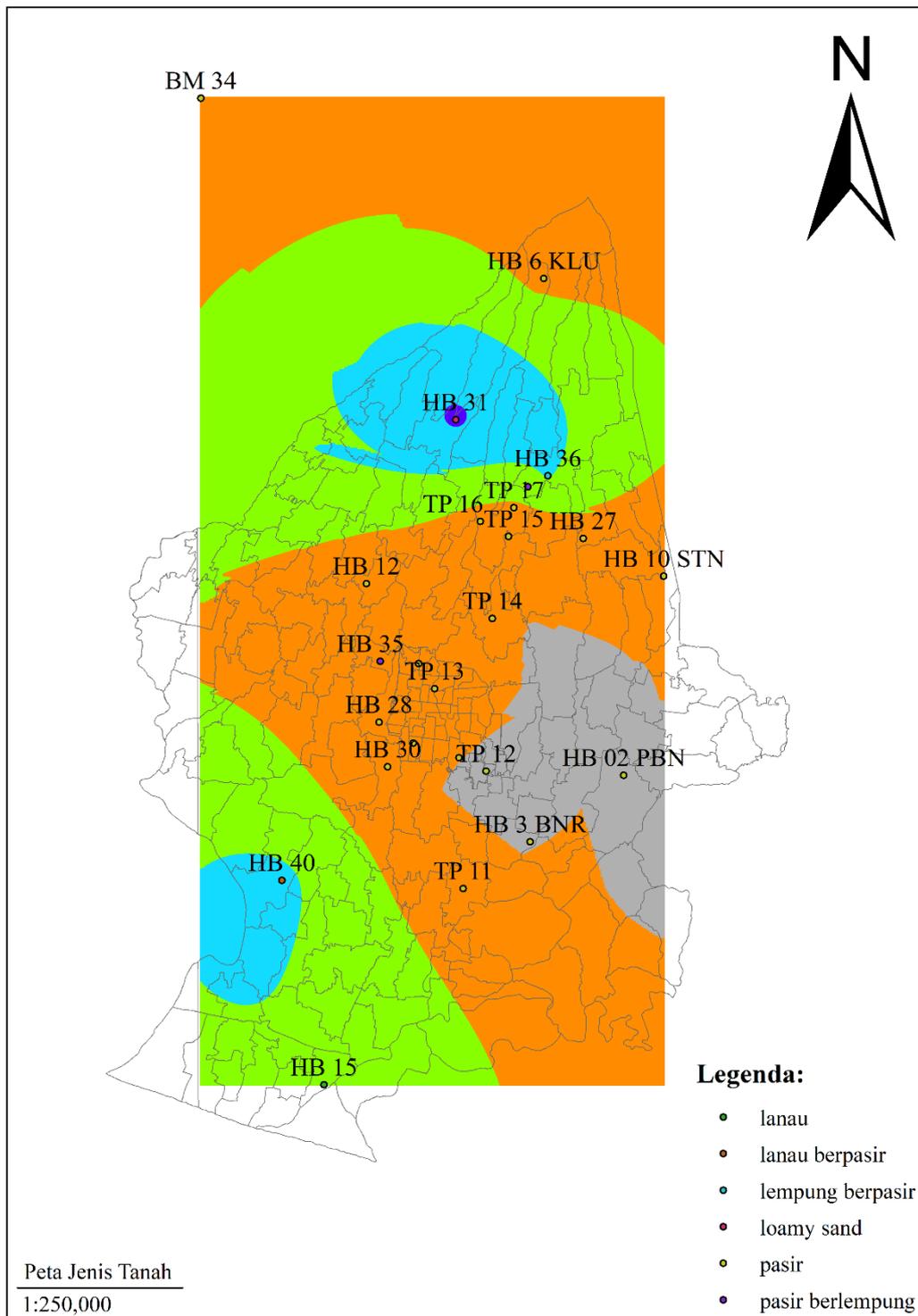
- Nilai laju infiltrasi model infiltrasi Horton dan Philip terbesar pada titik TP 15. Hal tersebut karena pada tanah titik TP 15 merupakan tanah pasir dan berdasarkan pembacaan penurunan air lumayan besar. Sehingga, pada saat analisis laju infiltrasi pada TP 15 memiliki nilai yang besar. Hasil analisis nilai laju infiltrasi rata-rata model Horton sebesar 16,34 cm/jam dan 12,76 cm/jam untuk model Philip.
- Berdasarkan analisis perbandingan perkiraan laju infiltrasi menggunakan metode Horton dan metode Philip dapat disimpulkan bahwa metode Horton maupun Philip baik untuk memperkirakan laju infiltrasi.

6. Daftar Pustaka

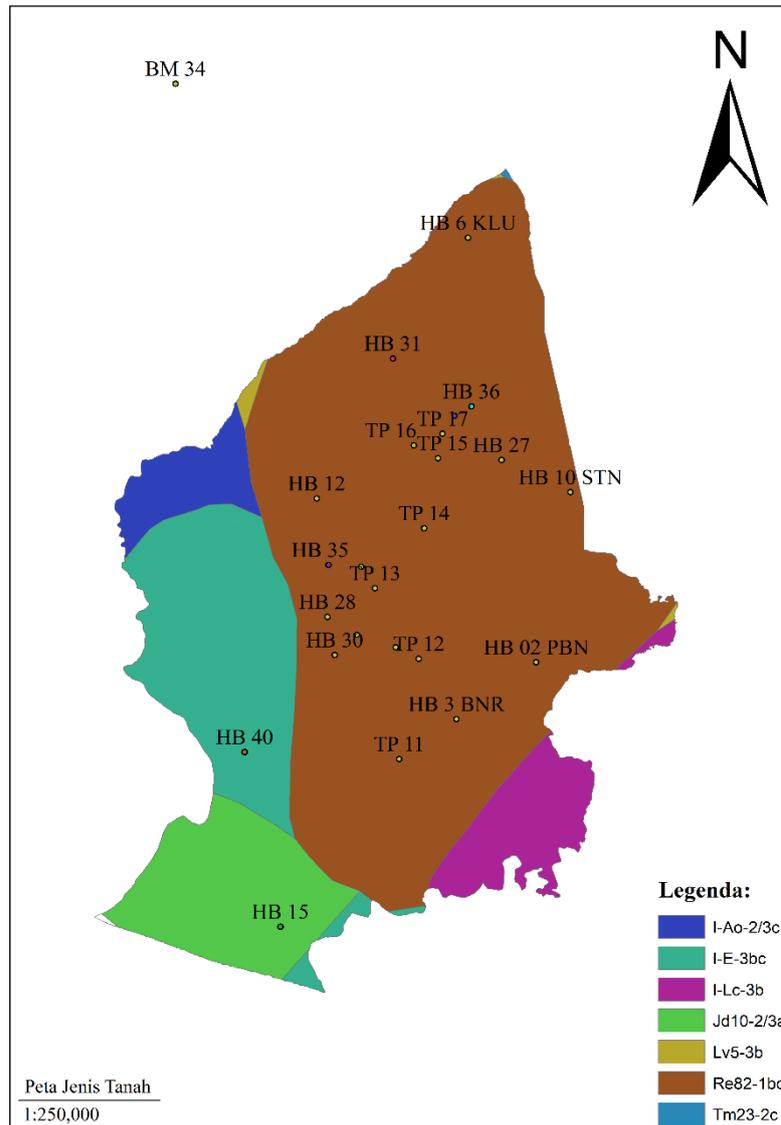
- Asdak, C, 2007, *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- ASTM, 2007, Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by the Sand-Cone Method, *ASTM International*, West Conshohocken.
- ASTM, 2007, Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass, *ASTM International*, West Conshohocken.
- Bayabil, H.K., Dile, Y.T., Tebebu, T.Y. dan Engda, T.A., 2019, Evaluating Infiltration Models and Pedotransfer Functions: Implication Hidrologic Modelling, *Geoderma*, 338, 159-169.

- Basit, A., 2018, *Pengaruh Nilai Infiltrasi Terhadap Potensi Banjir di Kawasan DAS Winongo*, Tugas Akhir, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Brakensiek, D.O. dan Onstad, C.A., 1977, Parameter Estimation of the Green and Ampt Infiltration Equation, *Water Resour. Res.*, 13(6), 1009-1012.
- BSN, 2012, SNI 7752:2012 Tentang Tata Cara Pengukuran Laju Infiltrasi Tanah di Lapangan Menggunakan Infiltrometer Cincin Ganda, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Craig, R.F., 1987, *Soil Mechanical*, Van Nostroad Reinhold, Inggris.
- Dhalhar, M.A., 1972, Process and Field Evaluation of Infiltration Rate, *Paper for the M.Sc. Degree*, The University of Minnesota.
- Don-Scott, H., 2002, *Soil Physics: Agricultural Environmental Application*, Iowa State University Press, Iowa.
- Igbadun, E.H. dkk., 2016, Performance of Selected Water Infiltration Models in Sandy Clay Loam Soil in Samaru Zaria, *Global Journal of Researches in Engineering*, 16 (4), 8-14.
- Haghighi, dkk., 2010, Evaluation of some infiltration models and hydraulic parameters, *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8 (1), 210-217.
- Hidayah, N., Suharto, B. dan Widiyanto, 2000, Evaluasi Model Infiltrasi Horton dengan teknik Constant Head Melalui Pendugaan Beberapa Sifat Fisik tanah pada Berbagai Pengelolaan Lahan, Universitas Brwijaya: Fakultas Teknologi Pertanian, Malang.
- Jafarinia dan Fuladipannah, 2014, The Determination of Appropriate Infiltration Process (Case Study: Shazand Plane, Arak, Iran), *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 14 (10), 1030-1034.
- Lal, R, 1990, Tropical Soils: Distribution Properties and Management, *Resource Management and Optimization*, 7, 39-52.
- Muntohar, A.S, 2009, *Mekanika Tanah*, Lembaga Pengembangan Penelitian, Publikasi, dan Masyarakat (LP3M) Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta.
- Oku dan Aiyelari, 2011, Predictability of Philip and Kostiaikov Infiltration Models under Inceptisols in the Humid Forest Zone, Nigeria, *Nat. Sci.*, 45, 594-602.
- Rahimi, A. dan Byzedi, M., 2012, The Evaluation and Determining of Soil Infiltration Models Coefficients, *Australians Journal of Basic and Applied Sciences*, 6 (6), 94-98.
- Ritawati, S., Mawardi, M. dan Goenadi, S., 2012, Kesesuaian Model Infiltrasi Philips untuk Prediksi Limpasan Permukaan Menggunakan Metode Bilangan Kurva, *AgriTech*, 32 (3), 331-339.
- Shahsavari, dkk., 2010, Studying the Philip model capability to estimate water infiltration parameters, *2010 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World*, 1-6 Augustus 2010, Brisbane, 19, 22-24.
- Sutikto, T. dan Chikamori, K., 1993, Evaluation of Philip's Infiltration Equation for Cultivated Upland Terraces in Indonesia, *Journal of Hydrology*, 143, 297-295.
- Tilman, D, 2001, Forecasting Agriculturally Driven Global Environmental Change, *Science*, 292, 284-288.
- Triatmodjo, 2008, *Hidrologi Terapan*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Ukata, Akintoye, U.S., Alade, O.A., dan Adesoji, 2015, An Evaluation of the Parameters of Philip's (1957) Infiltration Equation on Wetland Ecosystem in Agwagune Catchment, Cross River State of Nigeria, *Journal of Environment and Earth Science*, 4 (22), 1-4.

Lampiran 1 Peta jenis tanah menggunakan data pengujian oleh beberapa instansi



Lampiran 2 Peta jenis tanah menggunakan data *FAO*

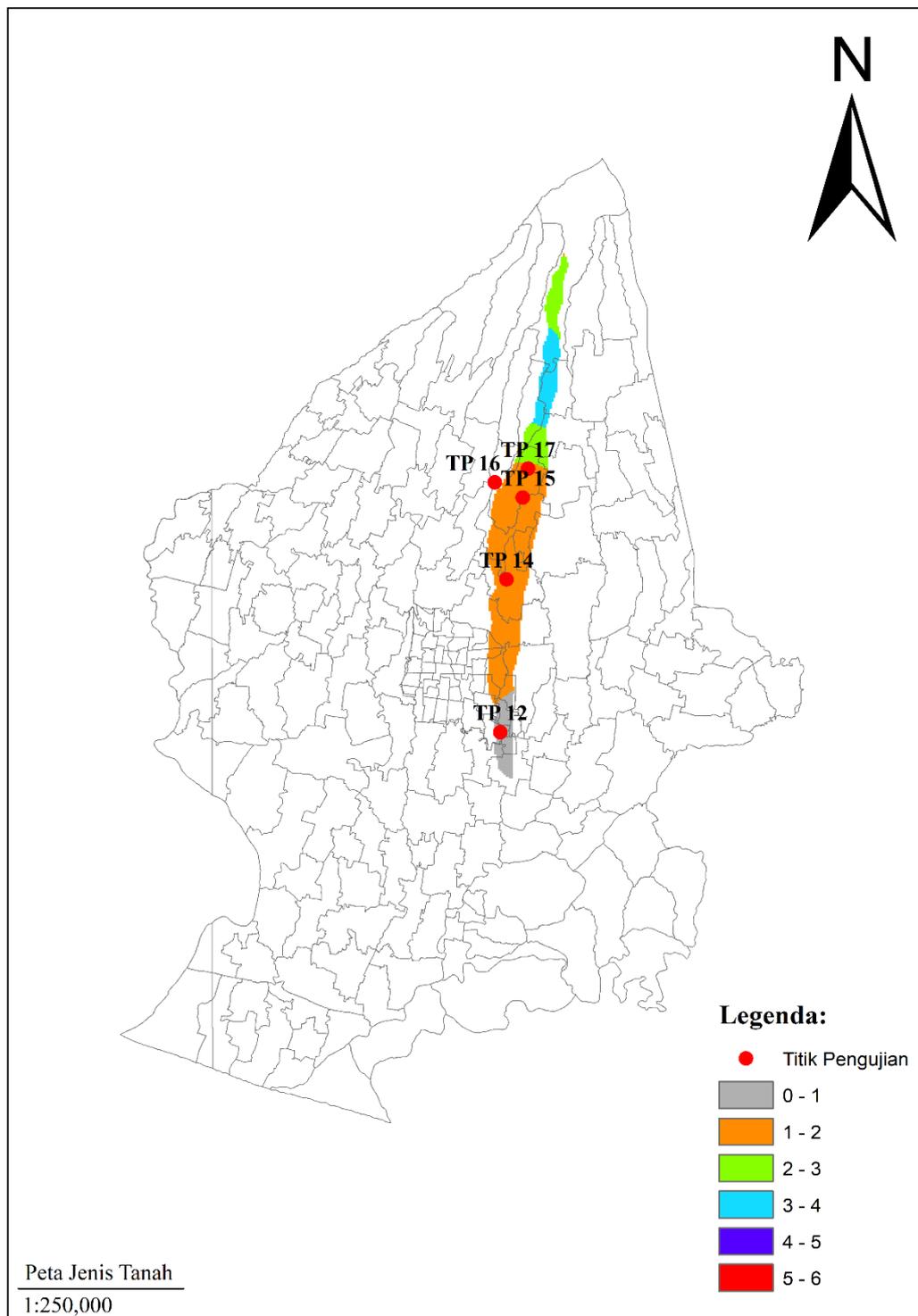


Keterangan:

Nama	Jenis Tanah	Kelas Hidrologi Tanah
I-Ao-2/3c	lempung lanau berpasir (<i>sandy clay loam</i>)	D
I-E-3bc	lempung (<i>loam</i>)	D
I-Lc-3b	lempung lanau berpasir (<i>sandy clay loam</i>)	C
Jd10-2/3a	lempung berlanau (<i>clay loam</i>)	C
Lv5-3b	lanau (<i>clay</i>)	D
Re82-1bc	lempung berpasir (<i>sandy loam</i>)	C
Tm23-2c	lempung (<i>loam</i>)	C

Kelas Hidrologi Tanah	Keterangan
A	Infiltrasi tinggi (> 0,75 cm/jam ketika basah), <i>run off</i> rendah, jenis tanah (<i>sand, loamy sand, sandy loam</i>).
B	Infiltrasi sedang (0,375 – 0,75 cm/jam ketika basah), <i>run off</i> sedang, jenis tanah (<i>silt loam, loam, loamy sand</i>).
C	Infiltrasi rendah (0,125 – 0,375 cm/jam ketika basah), <i>run off</i> sedang ke tinggi, jenis tanah (<i>sandy clay loam</i>).
D	Infiltrasi sangat rendah (0 – 0,125 cm/jam ketika basah), <i>run off</i> tinggi, jenis tanah (<i>clay loam, silty clay, loam, sandy clay, silty clay, clay</i>).

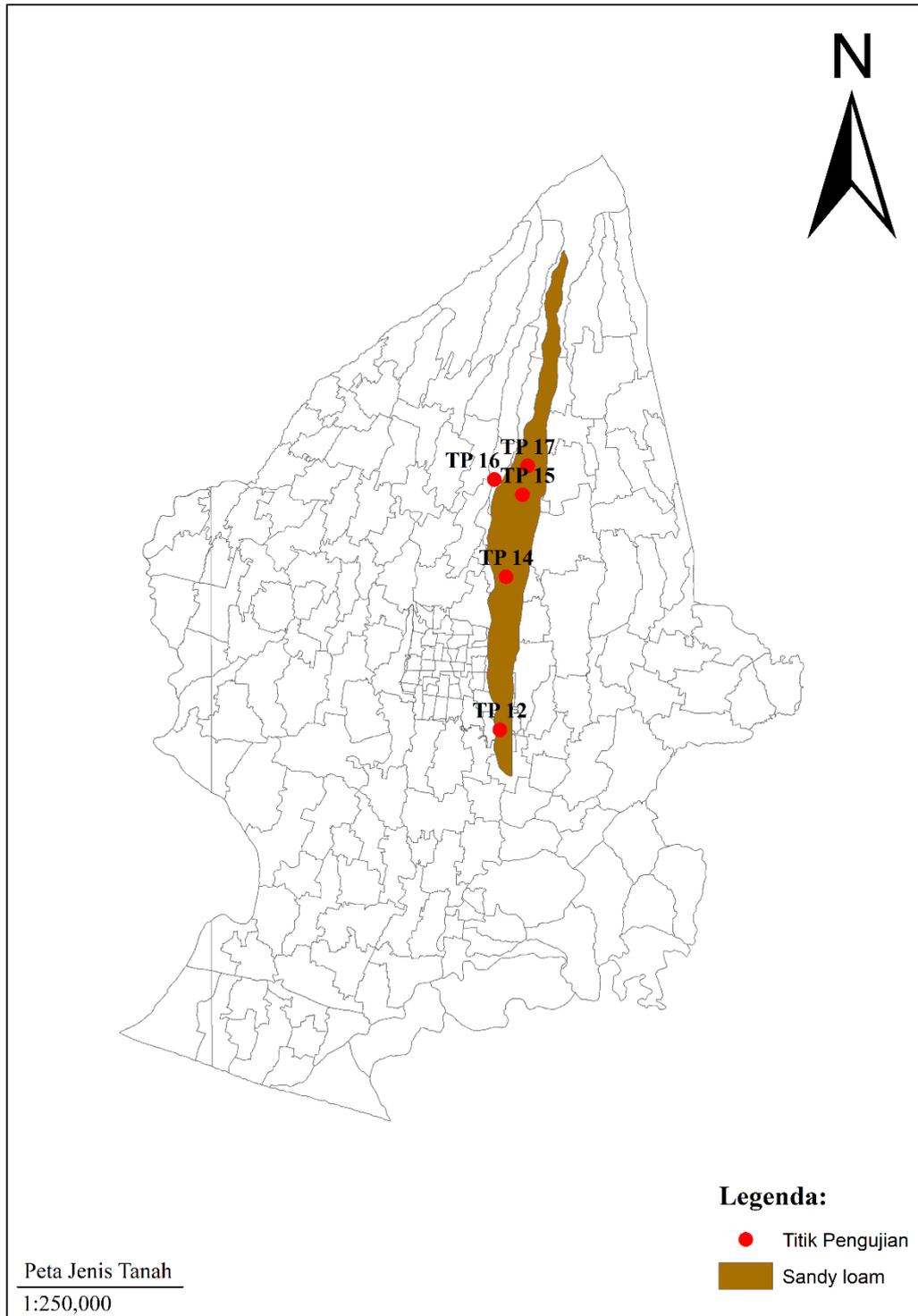
Lampiran 3 Peta jenis tanah Daerah Aliran Sungai (DAS) Gajah Wong menggunakan data pengujian oleh beberapa instansi



Keterangan:

- 1 = pasir,
- 2 = pasir berlempung,
- 3 = lanau,
- 4 = lanau berpasir,
- 5 = lempung berpasir,
- 6 = pasir berlempung (*loamy sand*).

Lampiran 4 Peta jenis tanah Daerah Aliran Sungai (DAS) Gajah Wong menggunakan data *FAO*



Keterangan:

sandy loam = pasir berlempung.

Lampiran 5 Infiltrometer cincin ganda (*double ring infiltrrometer*)



Gambar 1 Alat Infiltrometer cincin ganda (*double ring infiltrrometer*)



Gambar 2 Proses pemasangan alat



Gambar 3 Proses pembacaan penurunan air